

# THE AMERICAN SCHOLAR

## Lo que la Tierra sabe

Comprender el concepto de tiempo geológico y algo de ciencia básica puede brindar una nueva perspectiva sobre el cambio climático y el futuro energético.

Por [Robert B. Laughlin](#) | 1 de junio de 2010



Gran Cañón (Foto de Jim Gordon)

Cualquier conversación seria sobre el clima del planeta y nuestro futuro energético debe comenzar, paradójicamente, con una mirada retrospectiva al tiempo geológico. La razón de esto es que el camino a seguir está nublado por malentendidos sobre la Tierra. Los expertos son de poca ayuda en la lucha constante en esta conversación por separar el mito de la realidad, porque tienen la misma dificultad y rutinariamente lo demuestran hablando entre sí. Respetados científicos advierten sobre una inminente escasez de energía a medida que se agoten los suministros de combustible geológico. Los ejecutivos de Wall Street descartan sus predicciones calificándolas de mitos y piden más perforaciones. Los ambientalistas describen la destrucción que sufre la Tierra por la quema de carbón, petróleo y gas natural. Los economistas los ignoran y describen el peligro que supone para la Tierra no quemar carbón, petróleo y gas natural. Los investigadores en geología informan sobre nuevos hallazgos sobre cómo era la Tierra

hace millones de años. Los investigadores creacionistas informan nuevos hallazgos de que la Tierra no existía hace millones de años. La única manera de no perderse en este horrible pantano es revisar los conceptos básicos y decidir por sí mismo en qué cree y qué no.

El tiempo geológico es un concepto tan amplio que resulta útil convertirlo en algo más sencillo sólo para orientarse. Me gusta la lluvia.

- La precipitación total que cae sobre el mundo en un año es aproximadamente un metro de lluvia, la altura de un golden retriever.
- La cantidad total de lluvia que ha caído en el mundo desde que comenzó la revolución industrial es de unos 200 metros, la altura de la presa Hoover.
- La cantidad de lluvia que ha caído sobre el mundo desde los tiempos de Moisés es suficiente para llenar todos los océanos.
- La cantidad de lluvia que ha caído sobre el mundo desde que terminó la Edad del Hielo es suficiente para llenar todos los océanos cuatro veces.
- La cantidad de lluvia que ha caído sobre el mundo desde que murieron los dinosaurios es suficiente para llenar todos los océanos 20.000 veces, o el volumen total de la Tierra tres veces.
- La cantidad de lluvia que ha caído sobre el mundo desde que se formó el carbón es suficiente para llenar la Tierra 15 veces.
- La cantidad de lluvia que ha caído sobre el mundo desde que se formó el oxígeno es suficiente para llenar la Tierra 100 veces.

El sentido común nos dice que dañar algo tan antiguo es algo más fácil de imaginar que de lograr, como invadir Rusia. La Tierra ha sufrido explosiones volcánicas masivas, inundaciones, impactos de meteoritos, formación de montañas y todo tipo de abusos mayores que cualquier cosa que la gente pudiera infligir, y todavía está aquí. Es un superviviente. No sabemos exactamente cómo se recuperó la Tierra de estas devastaciones, porque las rocas no dicen mucho sobre eso, pero sí sabemos que sí se recuperó; la prueba de ello es que estamos aquí.

Sin embargo, dañar la Tierra es precisamente lo que preocupa a muchas personas responsables en este momento. El dióxido de carbono procedente de la quema humana de combustibles fósiles se está acumulando en la atmósfera a un ritmo alarmante, suficiente para duplicar la concentración actual en un siglo. Esta acumulación tiene el potencial de elevar la temperatura promedio de la Tierra varios grados centígrados, suficiente para modificar el clima y acelerar el derretimiento de las capas de hielo polares. Los gobiernos de todo el mundo se han alarmado tanto ante esta perspectiva que han tomado medidas significativas, aunque ineficaces, para frenar el calentamiento. Estas acciones incluyen legislar límites de carbono, financiar investigaciones sobre el secuestro de carbono, subsidiar tecnologías energéticas alternativas e iniciar al menos un proceso serio de tratado internacional para equilibrar los sacrificios económicos necesarios a través de las fronteras.

Lamentablemente, esta preocupación no es correspondida. En las escalas de tiempo relevantes para ella misma, a la Tierra no le importan ninguno de estos gobiernos ni sus legislaciones. No importa si apagas el aire acondicionado, el refrigerador y el televisor. No se da cuenta cuando bajas el termostato y conduces un coche híbrido. Estas acciones simplemente extienden el dolor durante unos siglos, en un abrir y cerrar de ojos, en lo que respecta a la Tierra, y dejan el resultado final exactamente igual: todo el combustible fósil que antes estaba en la tierra ahora está en el aire, y no queda nada para quemar. La Tierra planea disolver la mayor parte de este dióxido de carbono en sus océanos en aproximadamente un milenio, dejando la concentración en la atmósfera

ligeramente más alta que la actual. Más de decenas de milenios después de eso, o tal vez cientos, luego transferirá lentamente el exceso de dióxido de carbono a sus rocas, y eventualmente devolverá los niveles en el mar y el aire a los que eran antes de que los humanos llegaran a la escena. El proceso tomará una eternidad desde la perspectiva humana, pero será sólo un breve instante de tiempo geológico.

Algunos detalles de este escenario particular de dióxido de carbono son, por supuesto, controvertidos, ya que todos los pronósticos son en parte subjetivos, incluidos los realizados por computadora. Hay que extrapolar a partir de hechos y principios actuales, y hay opiniones diversas al respecto. La escala de tiempo para que el océano absorba el dióxido de carbono producido por el hombre está determinada por la tasa de mezcla del agua superficial con el agua profunda en el mar, que se conoce sólo indirectamente y posiblemente podría cambiar durante la ola de calor de mil años. La cantidad de dióxido de carbono que queda en la atmósfera después del equilibrio varía de tolerable a alarmante dependiendo de la cantidad de combustión industrial que asuma el modelo. Nadie sabe con certeza cuánto tiempo tardará el exceso de dióxido de carbono en convertirse en piedra caliza y desaparecer en las rocas, ni siquiera la química específica involucrada. La razón principal para pensar que desaparecerá es que algo, presumiblemente un proceso regulador geológico, fijó los niveles de dióxido de carbono del mundo antes de que los humanos aparecieran en escena. Algunas personas argumentan que el dióxido de carbono ha estado limitado a estos valores durante millones de años, basándose en que la maquinaria fotosintética de las plantas les parece optimizada. Pero el panorama general de un pulso de dióxido de carbono de mil años seguido de una lenta decadencia glacial que regresa a la situación de precivilización es común a la mayoría de los modelos, incluso a los muy pesimistas. El argumento se basa en que la maquinaria fotosintética de las plantas les parece optimizada. Pero el panorama general de un pulso de dióxido de carbono de mil años seguido de una lenta decadencia glacial que regresa a la situación de precivilización es común a la mayoría de los modelos, incluso a los muy pesimistas.

Los pronósticos sobre el calentamiento global tienen la dificultad adicional de que no se puede encontrar mucho calentamiento global real en las observaciones meteorológicas actuales. En principio, los cambios en el clima deberían reflejarse en las estadísticas de precipitaciones, la frecuencia de los huracanes, los registros de temperatura, etc. En la práctica, no lo hacen, porque los patrones climáticos están dominados por grandes eventos plurianuales en los océanos, como la Oscilación del Sur de El Niño y la Oscilación del Giro del Pacífico Norte, que no tienen nada que ver con el cambio climático. Para poner a prueba las predicciones, habría que separar estos grandes efectos de los cambios sutiles e inexorables a escalas de siglos, y nadie sabe cómo hacerlo todavía.

---

Sin duda, los humanos pueden causar daños que persistan durante el tiempo geológico si se cuenta su contribución a la pérdida de biodiversidad. Una cantidad considerable de evidencia muestra que los humanos están causando lo que los biólogos llaman la “sexta extinción masiva”, en alusión a los cinco casos anteriores en el registro fósil en los que grandes cantidades de especies extinguieron misteriosamente en un destello de tiempo geológico. Una explicación popular y plausible para el último de estos acontecimientos, aquel en el que desaparecieron los dinosaurios, es que un asteroide de 10 kilómetros de

diámetro, que viajaba a 15 kilómetros por segundo, chocó contra la Tierra y explotó con la potencia de un millón de 100 megatones. ojivas de hidrógeno. Muchos dicen que el daño que actualmente causa la actividad humana es comparable a este. Las extinciones, a diferencia de los excesos de dióxido de carbono, son permanentes. La tierra no reemplazó a los dinosaurios después de que murieron, a pesar de las mejores condiciones climáticas y de 20.000 años de Moisés para hacer reparaciones. Simplemente siguió adelante y se convirtió en algo diferente de lo que había sido antes.

Sin embargo, el dióxido de carbono, per se, no es responsable de la mayor parte de este estrés de extinción. Hay un puñado de ejemplos contrarios, en particular los corales, que pueden ser especialmente sensibles a la acidificación de la superficie del océano, y los anfibios, que están disminuyendo notablemente por razones desconocidas. Pero, excepto en estos pocos casos aislados, mantener los combustibles basados en carbono en el suelo por un tiempo más no hará mucha diferencia a la hora de mitigar la pérdida de biodiversidad. El verdadero problema es la presión demográfica en general: sobreexplotación, destrucción del hábitat, abuso de pesticidas, invasión de especies, etc. Para frenar de manera significativa las extinciones provocadas por el hombre sería necesario reducir drásticamente la población humana mundial. Es poco probable que eso suceda.

Es un error suspender el juicio sobre cuestiones de población, clima y uso de carbono sólo porque son sensibles. Si lo hace, quedará incapacitado por la confusión. Los científicos de la Tierra tienden a ser ultraconservadores cuando se trata del futuro, presumiblemente porque la ética científica prohíbe mezclar la especulación con los hechos, y hacen todo lo posible para demostrar mediante mediciones que el planeta se está calentando ahora, el océano se está acidificando ahora, los combustibles fósiles se está agotando ahora, etc., aunque estas cosas son evidentes en el tiempo geológico. El desafortunado resultado es que cada vez hay más datos pero cada vez menos comprensión: un problema común en la ciencia pero especialmente grave en la climatología. En tales situaciones, es esencial sopesar los hechos con más fuerza si son simples y utilizar esta práctica para eliminar la confusión siempre que sea posible.

La inmensa capacidad del mar para almacenar dióxido de carbono es una de las cosas sencillas con las que uno puede orientarse de forma fiable. Es un proyecto de feria de ciencias de la escuela secundaria. Deje un vaso de agua destilada en la encimera durante la noche y a la mañana siguiente se habrá vuelto ligeramente ácido debido a la absorción de dióxido de carbono del aire. No ha absorbido mucho (aproximadamente la cantidad almacenada en un volumen igual de aire), por lo que este efecto por sí solo no secuestrará mucho carbono. Pero deje caer un trozo de piedra caliza en el agua, emulando así la presencia de rocas carbonatadas en el fondo del mar, y a la mañana siguiente encontrará que el agua se vuelve ligeramente alcalina y la cantidad de carbono disuelto en el agua ahora es 60. veces mayor que antes. Después de jugar un poco para descubrir de dónde procedía este carbono, Finalmente descubres que la mitad provino de la piedra caliza y la otra mitad provino del aire. Todo tiene que ver con la maravillosa (y elemental) química de las sales de bicarbonato. También encontrará que la alcalinidad del agua coincide con la del agua de mar, al igual que la capacidad de carga de dióxido de carbono. Así nos enteramos de que los océanos han disuelto en ellos, en forma de ion bicarbonato, 40 veces más carbono del que contiene la atmósfera, un total de 30 billones de toneladas, o 30 veces las reservas mundiales de carbón.

Los experimentos que asignan números específicos de años a las capas geológicas son casi tan simples como este proyecto de feria científica, aunque no del todo, y son igual de confiables. Por supuesto, no todo el mundo está de acuerdo con esta valoración. El tiempo geológico sí contraviene ciertas creencias religiosas, dificultad notoria del tema

que es muy lamentable, ya que no contraviene las creencias religiosas que cuentan. Pero probablemente sea más significativo que los experimentos, por simples que sean, impliquen hechos oscuros sobre las rocas, un conocimiento de las leyes físicas y la suposición de que esta ley era la misma en el pasado antiguo que ahora. Nada de esto es obvio, y mucho menos interesante, para la persona promedio. Si vas al supermercado y entablas una conversación con el cajero sobre la Era Paleozoica, la radioactividad, o la desaparición de la megafauna, te recibirán con una sonrisa, tras lo cual probablemente te escoltarán fuera del edificio como si estuvieras loco. Sin embargo, las escalas de tiempo provienen de algo concreto que se puede explicar de forma sencilla.

Se puede avanzar mucho hacia la comprensión del tiempo geológico con sólo disciplinarse a utilizar el sentido común. Una playa local a poca distancia de mi casa está respaldada por acantilados de unos 100 pies de altura que exponen capas alternas de arenisca, lutita y agregados, quizás siete capas en total. Se puede decir, sin haber asistido a una sola clase de geología, que estas capas se formaron por la acción del agua, siendo el candidato más probable el océano cercano, especialmente a la luz de las conchas fosilizadas sepultadas en algunas de las capas. Sin embargo, allí están altos y secos, integrados en las colinas más allá, como si fueran el borde cortado de un enorme pastel de capas. Las capas también están inclinadas, a veces hacia arriba y otras hacia abajo, como si gigantes se hubieran sentado sobre ellas en algunos lugares pero no en otros. La inclinación es lo suficientemente grande como para que algunos planos de los acantilados continúen descendiendo hasta la playa y desaparezcan en el suelo. Los acantilados se están erosionando. Las rocas se desmoronan notablemente en algunos lugares, y se pueden ver pequeños deslizamientos de tierra en lo alto del acantilado, y estantes y cuevas en el fondo, donde las olas bañan durante la marea alta.

Una vez que empiezas a notar rarezas en las rocas, no puedes evitar pensar en sus implicaciones. Las capas de rocas con almejas fosilizadas en ellas sólo pueden estar sobre el agua ahora si la tierra se elevó, el mar se hundió o ambas cosas. El nivel del mar ha sido bastante constante a lo largo de la historia, digamos 5.000 años, y tampoco hay casos documentados de elevaciones de treinta metros en la tierra, excepto los resultantes de los volcanes. Por tanto, los acantilados son considerablemente más antiguos que la historia registrada. La inclinación te dice que la tierra se movió, independientemente de lo que hizo el mar. El material que formaba las capas tenía que venir de alguna parte. La erosión de los propios acantilados es realmente la única posibilidad, porque simplemente no hay suficiente lodo bajando por los arroyos y ríos locales para dar cuenta de la gran masa de roca, y de todos modos las capas son granuladas y con trozos, lo que el lodo del río no es. Pero los acantilados no pueden estar hechos de restos de erosión propios. Por lo tanto, los acantilados debieron haberse erosionado por completo y haber vuelto a levantarse al menos una vez, y probablemente varias veces, a juzgar por la complejidad de las capas. La tasa de erosión de los acantilados determina así la edad mínima de las rocas. A los ojos de un visitante habitual, este ritmo parece ser de aproximadamente un milímetro por año, tal vez menos, ya que la roca aquí es relativamente dura, de modo que se necesitarían 100.000 años para erosionar un kilómetro, o alrededor de un millón de años para erosionar la superficie. orilla por completo. Esto es lo suficientemente largo como para no tener en cuenta la Edad del Hielo. La edad de las rocas es de aproximadamente un millón de años, o quizás dos millones, para estar seguros. y más probablemente varias veces, a juzgar por la complejidad de las capas. La tasa de erosión de los acantilados determina así la edad mínima de las rocas. A los ojos de un visitante habitual, este ritmo parece ser de aproximadamente un milímetro por año, tal vez menos, ya que la roca aquí es relativamente dura, de modo que se necesitarían 100.000 años para erosionar un kilómetro, o alrededor de un millón de años para erosionar la superficie. orilla por completo. Esto es lo suficientemente largo como para no tener en cuenta la Edad del

Hielo. La edad de las rocas es de aproximadamente un millón de años, o quizás dos millones, para estar seguros. y más probablemente varias veces, a juzgar por la complejidad de las capas. La tasa de erosión de los acantilados determina así la edad mínima de las rocas. A los ojos de un visitante habitual, este ritmo parece ser de aproximadamente un milímetro por año, tal vez menos, ya que la roca aquí es relativamente dura, de modo que se necesitarían 100.000 años para erosionar un kilómetro, o alrededor de un millón de años para erosionar la superficie. orilla por completo. Esto es lo suficientemente largo como para no tener en cuenta la Edad del Hielo. La edad de las rocas es de aproximadamente un millón de años, o quizás dos millones, para estar seguros. 000 años para erosionar un kilómetro, o alrededor de un millón de años para erosionar la costa por completo. Esto es lo suficientemente largo como para no tener en cuenta la Edad del Hielo. La edad de las rocas es de aproximadamente un millón de años, o quizás dos millones, para estar seguros. 000 años para erosionar un kilómetro, o alrededor de un millón de años para erosionar la costa por completo. Esto es lo suficientemente largo como para no tener en cuenta la Edad del Hielo. La edad de las rocas es de aproximadamente un millón de años, o quizás dos millones, para estar seguros.

Estas estimaciones tan crudas del tiempo geológico eran lo mejor que se podía hacer hasta la década de 1960, cuando la datación radiométrica de las rocas se volvió algo común. La relativa novedad de esta tecnología explica algunos de los problemas de credibilidad de la geología, ya que el propio tiempo geológico se inventó 100 años antes y, por tanto, tuvo mucho tiempo para desarrollar una reputación de inestable. Si bien la datación por radio es técnicamente difícil, e incluso imposible, sin equipos sofisticados, conceptualmente es sencilla. El método apropiado para esta situación implica colocar un trozo de roca del tamaño de una pelota de golf en una cámara de vacío, fundir la roca, recoger todos los gases expulsados y medir la masa total del elemento argón que contienen estos gases. Luego disuelves la misma roca en ácido, haces un poco de química húmeda convencional con la solución, y medir la masa total del elemento potasio que contiene. La proporción de estas dos masas, multiplicada por un número determinado, es la edad de la roca. La física subyacente a este procedimiento es que el potasio, que abunda en casi todas las rocas, es ligeramente radiactivo y se descompone en argón, un elemento químicamente inerte. Al argón le gusta escapar de las rocas cuando están muy calientes, en particular cuando se funden en lava volcánica, pero de lo contrario queda atrapado. Una roca volcánica convencional no contiene argón inmediatamente después de solidificarse. La cantidad de argón que contiene ahora cuenta, por tanto, el número de átomos de potasio que se han desintegrado desde que se solidificó y, por tanto, la cantidad de tiempo transcurrido. La física subyacente a este procedimiento es que el potasio, que abunda en casi todas las rocas, es ligeramente radiactivo y se descompone en argón, un elemento químicamente inerte. Al argón le gusta escapar de las rocas cuando están muy calientes, en particular cuando se funden en lava volcánica, pero de lo contrario queda atrapado. Una roca volcánica convencional no contiene argón inmediatamente después de solidificarse. La cantidad de argón que contiene ahora cuenta, por tanto, el número de átomos de potasio que se han desintegrado desde que se solidificó y, por tanto, la cantidad de tiempo transcurrido. La física subyacente a este procedimiento es que el potasio, que abunda en casi todas las rocas, es ligeramente radiactivo y se descompone en argón, un elemento químicamente inerte. Al argón le gusta escapar de las rocas cuando están muy calientes, en particular cuando se funden en lava volcánica, pero de lo contrario queda atrapado. Una roca volcánica convencional no contiene argón inmediatamente después de solidificarse. La cantidad de argón que contiene ahora cuenta, por tanto, el número de átomos de potasio que se han desintegrado desde que se solidificó y, por tanto, la cantidad de tiempo transcurrido. Una roca volcánica convencional no contiene argón inmediatamente después de solidificarse. La cantidad de argón que contiene ahora cuenta, por tanto, el

número de átomos de potasio que se han desintegrado desde que se solidificó y, por tanto, la cantidad de tiempo transcurrido. Una roca volcánica convencional no contiene argón inmediatamente después de solidificarse. La cantidad de argón que contiene ahora cuenta, por tanto, el número de átomos de potasio que se han desintegrado desde que se solidificó y, por tanto, la cantidad de tiempo transcurrido.

Sin embargo, la datación radiométrica debe usarse con cautela porque es muy fácil hacerlo mal. Los niveles de argón pueden ser artificialmente altos, por ejemplo, debido a la contaminación atmosférica en las bolsas de aire y los límites de los granos en la roca, o pueden ser artificialmente bajos porque la roca se sobrecalentó algún tiempo después de su formación, o porque la roca recrystalizó o adquirió inclusiones de roca más joven a través de procesos geológicos subterráneos. La roca sedimentaria siempre da lecturas sin sentido porque no se calienta cuando se forma y porque la erosión, la agregación y el metamorfismo provocan cambios en la estructura cristalina, que corrompen el registro de argón.

Los acantilados de mi playa pueden datarse por una capa de ceniza volcánica que se encuentra bastante arriba. El equipo que inspeccionó el sitio por última vez optó por no datar la ceniza directamente, presumiblemente porque no confiaban en los niveles de argón, sino que la identificó químicamente con ceniza depositada a cientos de kilómetros de distancia y cubierta por una capa de basalto volcánico. Del basalto se obtuvo un argón limpio de dos millones y medio de años. Las rocas basálticas que se encuentran más arriba en las montañas detrás de esta playa, que son más antiguas, tienen una edad de 20 millones de años. Las rocas de la playa tienen, pues, entre dos y 20 millones de años. La correlación cruzada de los fósiles que contienen reduce esta fecha a unos seis millones de años, un millón más o menos. Por lo tanto, no había seres humanos en la Tierra cuando la capa inferior de estas capas se sedimentó por primera vez en el mar.

---

Sería muy sorprendente si las rocas convenientemente cercanas a mi casa tuvieran edades geológicas especialmente grandes, pero, naturalmente, este no es el caso. Cuando se realizan los mismos tipos de análisis con rocas en otras partes del mundo, normalmente se obtienen edades que son de 10 a 100 veces mayores que éstas. Un ejemplo particularmente famoso se encuentra en la primera edición de *Sobre el origen de las especies.*, donde Charles Darwin utilizó argumentos de erosión para estimar la edad de Weald, una región al sureste de Londres curiosamente deficiente en tiza. Se le ocurrió 300 millones de años. Fue imposible refinar esta estimación radiométricamente en ese momento, por lo que probablemente no sea sorprendente que redujera su estimación a la mitad en la segunda edición y eliminara toda mención del tema en la tercera. Pero su razonamiento era conceptualmente correcto y la estimación en sí estaba cerca de ser correcta. The Weald tiene unos 120 millones de años, más o menos 10 millones. Es una parte interesante de Inglaterra, el lugar donde se libró la Batalla de Hastings, se inventó el cricket y se descubrieron por primera vez fósiles de dinosaurios.

Sin embargo, Weald es sólo el comienzo, ya que Gran Bretaña es extremadamente antigua. Por un golpe de fortuna, todo el país es una pila completa de capas sedimentarias del mundo inclinadas suavemente hacia el noroeste y luego niveladas en la parte superior. Los abundantes fósiles que se encuentran en el suelo, que se diferencian en las distintas capas, forman así estrechas huellas que discurren aproximadamente paralelas a la costa de Francia. Cuando la gente descubrió estas huellas por primera vez, no tenían forma de fechar las rocas en cuestión, por lo que simplemente les asignaron nombres. La pista más oriental se convirtió en Cretácico,

después de la palabra griega *creta*. para tiza. El siguiente se convirtió en el Jurásico, después de las montañas del Jura en Suiza. El siguiente se convirtió en el Triásico después de un patrón de sedimentación característico de tres niveles (el Tria) que se encuentra comúnmente en Alemania. El siguiente se convirtió en el Pérmico, después de la región de Perm en Rusia. Y así sucesivamente y así sucesivamente. Pero la posterior invención de la datación por radio permitió asignar edades reales a estos nombres, aunque con las dificultades de precisión encontradas en mi playa. Los acantilados blancos de Dover tienen 70 millones de años. La arcilla bajo Oxford tiene 150 millones de años. Las rocas bajo Stratford-upon-Avon tienen 200 millones de años. El carbón bajo Stoke-on-Trent tiene 300 millones de años. El Distrito de los Lagos tiene 400 millones de años. La Isla de Man tiene 500 millones de años. Las Tierras Altas de Escocia tienen 600 millones de años y más.

Las rocas más antiguas del mundo no se encuentran en Gran Bretaña sino en lugares expuestos a extremos de glaciación de la Edad del Hielo, como Groenlandia, el norte de Canadá y el norte de Finlandia. Aquí los glaciares eliminan todas las capas sedimentarias superiores para exponer las rocas primordiales que se encuentran debajo. Las edades radiométricas de estas rocas comienzan donde termina el registro geológico en Gran Bretaña y se remontan a cuatro mil millones de años más. Las edades más antiguas coinciden con las de los meteoritos y las rocas lunares, lo que implica que datan el nacimiento de la Tierra. La edad de la Tierra no es importante para las discusiones sobre energía excepto para establecer que los eventos cósmicos, y no los juicios de valor, fijan la escala general del tiempo geológico.

Los continentes se han movido hacia arriba y hacia abajo a lo largo del tiempo geológico a una distancia mayor que la profundidad del mar. Lo sabemos porque el espesor total de la roca sedimentaria en algunos lugares supera los cuatro kilómetros. Después de datar Weald, Darwin también observó que el espesor total de todos los estratos sedimentarios de Inglaterra sumaría 22 kilómetros si se apilaran uno encima del otro. No estaba claro en ese momento cómo interpretar literalmente este hecho, porque nadie había minado directamente a través de todas las capas; Tampoco nadie sabía con seguridad qué tan profundo era el océano. Pero ahora los océanos han sido estudiados minuciosamente y las tecnologías petroleras como la ecostratigrafía y la perforación profunda encuentran rutinariamente capas de roca sedimentaria de 10 a 15 kilómetros de espesor. El ejemplo más sensacional de tales espesores es el Gran Cañón, que requirió un levantamiento de tres kilómetros desde el nivel del mar para ser cortado por el río Colorado, y que forma, junto con la Escalera Escalante de Utah, una masa sedimentaria total de 10 kilómetros de espesor. El Gran Cañón también demuestra que se alternaron levantamientos y hundimientos, ya que contiene capas de fósiles de plantas intercaladas entre capas de fósiles marinos. Menos famoso, pero no menos relevante para la inmensidad del tiempo geológico, es el cercano cañón del río Animas, que atraviesa roca sedimentaria de cinco kilómetros de espesor. En todo el mundo son comunes los depósitos sedimentarios de más de un kilómetro de espesor. ya que contiene capas de fósiles de plantas intercaladas entre capas de fósiles marinos. Menos famoso, pero no menos relevante para la inmensidad del tiempo geológico, es el cercano cañón del río Animas, que atraviesa roca sedimentaria de cinco kilómetros de espesor. En todo el mundo son comunes los depósitos sedimentarios de más de un kilómetro de espesor.



Sin embargo, el nivel del mar no ha subido ni bajado a lo largo del tiempo geológico en una cantidad mayor que la altura de las montañas. Lo sabemos porque los sedimentos marinos se han acumulado continuamente durante los últimos 600 millones de años, lo que no habrían ocurrido si la erosión continental se hubiera detenido o el fondo marino se hubiera vaciado. Además, se puede trabajar hacia atrás a partir de las pistas dejadas en las rocas para calcular cuál era el nivel del mar en el pasado geológico. Este proceso tiene incertidumbres metodológicas, porque implica juicios sobre cómo se alinean las secuencias de capas en diferentes partes del mundo, qué constituye evidencia de las costas y cómo la corteza terrestre cedió y rebotó a medida que las masas de roca iban y venían. Sin embargo, es lo suficientemente preciso como para decirte que la cantidad de agua en la tierra no ha cambiado significativamente a lo largo del tiempo geológico. y que el ascenso y descenso de los océanos se explica adecuadamente por el aumento y disminución de las capas de hielo polares y los lentos cambios en los volúmenes de las cuencas oceánicas. El nivel del mar ha tenido una historia compleja e interesante, pero nunca se ha desviado más de 200 metros de su valor actual.

El mar ha subido y bajado con especial fuerza durante el último millón de años como resultado de la glaciación de la Edad del Hielo. Lo sabemos porque las proporciones de isótopos de oxígeno en los sedimentos oceánicos varían violentamente con la profundidad. Estas proporciones miden indirectamente la cantidad de agua encerrada en las capas de hielo de los glaciares en el momento de la sedimentación. Los sedimentos registran nueve episodios glaciares importantes, cada uno de los cuales bajó el nivel del mar en más de 50 metros y luego lo devolvió abruptamente a su valor actual. Al menos cuatro de estos episodios hicieron descender el nivel del mar en más de 100 metros. Esto incluye el más reciente, que lo bajó 120 metros. La cantidad de descenso se ve corroborada por los arrecifes de coral elevados, que muestran un crecimiento en lugares que de otro modo habrían sido imposibles porque requieren aguas poco profundas.

Los grandes episodios glaciares son ejemplos espectaculares del cambio climático natural que se ha producido en el tiempo geológico. Tuvieron lugar a intervalos regulares de 100.000 años y siempre siguieron el mismo patrón extraño de enfriamiento lento y constante seguido de un calentamiento abrupto que regresaba a condiciones similares a las actuales. Lo sabemos porque los registros químicos en el hielo polar, cuyos patrones coinciden con los de los sedimentos, contienen una señal que sigue fuertemente la oscilación precesional de la Tierra, la deriva cíclica de 24.000 años del eje de giro de la Tierra causada por el tirón gravitacional de la Luna. y sol. La precesión es una cantidad astronómica parecida a un reloj, por lo que su aparición en los datos del hielo permite una datación precisa del hielo. Esto, a su vez, permite una datación precisa de los sedimentos. El último derretimiento glacial, fechado en 15, Hace 000 años, la era del radiocarbono de los restos de madera que dejaron los glaciares al retirarse, se produjo rápidamente. El mar subió más de un centímetro por año durante 10.000 años y luego se detuvo. El calor adicional requerido para este derretimiento fue 10 veces el consumo de energía actual de la civilización. El caudal total de agua de deshielo equivalía a dos Amazonas, o la mitad del caudal de todos los ríos del mundo.

Sin embargo, los grandes episodios de hielo no fueron los únicos casos de cambio climático natural. Hace seis millones de años el mar Mediterráneo se secó. Hace noventa millones de años, caimanes y tortugas retozaban en el Ártico. Hace ciento cincuenta millones de años, los océanos inundaron el centro de América del Norte y conservaron huesos de dinosaurios. Hace trescientos millones de años, el norte de Europa se quemó hasta convertirlo en un desierto y se formó carbón en la Antártida. Los grandes episodios de hielo fueron precedidos por aproximadamente 30 más pequeños hace entre uno y dos millones de años, y quizás el doble antes de eso.

Nadie sabe por qué ocurrieron estos dramáticos cambios climáticos en el pasado antiguo. Las ideas que comúnmente surgen incluyen perturbaciones en la órbita de la Tierra causadas por otros planetas, alteraciones de las corrientes oceánicas, el ascenso y descenso de los gases de efecto invernadero, el reflejo del calor por la nieve, la deriva continental, los impactos de cometas, las inundaciones del Génesis, los volcanes y los cambios lentos en la irradiancia de la Tierra. el sol. No se ha encontrado ningún respaldo científicamente sólido para ninguna de estas sugerencias. Una cosa que sabemos con certeza es que la gente no estuvo involucrada. No había suficiente gente alrededor durante los episodios de hielo como para importar, y no había gente alrededor antes de los episodios de hielo.

El registro geológico tal como lo conocemos sugiere que el clima es algo profundamente más grandioso que la energía. La adquisición de energía es una cuestión de ingeniería y de mantener las luces encendidas en circunstancias que probablemente se volverán más difíciles a medida que pase el tiempo. El cambio climático, por el contrario, es una cuestión de tiempo geológico, algo que la Tierra hace habitualmente por sí sola sin pedir permiso a nadie ni dar explicaciones. La Tierra no incluye en su planificación los efectos potencialmente catastróficos sobre la civilización. Lejos de ser responsable de dañar el clima de la Tierra, la civilización tal vez no pueda prevenir ninguno de estos terribles cambios una vez que la Tierra haya decidido realizarlos. Si la tierra estuviera decidida a congelar Canadá nuevamente, por ejemplo, es difícil imaginarse haciendo algo más que vender sus bienes raíces en Canadá. Si decide derretir Groenlandia, lo mejor sería deshacerse de sus propiedades en Bangladesh. El registro geológico sugiere que el clima no debería preocuparnos demasiado cuando miramos hacia el futuro energético, no porque carezca de importancia, sino porque está más allá de nuestro poder de control.

[Robert B. Laughlin](#) es profesor de física en la Universidad de Stanford y co-ganador del Premio Nobel de Física de 1998. Este ensayo es una adaptación de su nuevo libro sobre el futuro de los combustibles fósiles, que aparecerá el próximo año.